

УДК 621.3:681.3

ВЛАСТИВОСТІ ШУМОВИХ ПОЛІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМ ОБРОБКИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

© Р. Камінський

Національний університет "Львівська політехніка"

Обґрунтовано правомірність використання шумових полів для побудови тестових зображень для контролю систем обробки і розпізнавання зображень. Наведені основні властивості шумових полів.

The legitimacy to use noise fields for a building of test-image for a checking of systems of image processing and recognitions is substantiated. The basic property of noise fields are presented.

Вступ

Проблема оцінювання ефективності систем розпізнавання не втрачає своєї актуальності із появою все більш досконалої обчислювальної техніки та спеціалізованого програмного забезпечення. Ефективність систем розпізнавання – тих, що експлуатуються, розробляються або тих, які використані для розв'язання подібних нетипових задач, визначається повнотою досягнення та вартістю поставленої перед нею цілі [1]. Основними складовими оцінок ефективності системи розпізнавання є ймовірність правильного розпізнавання, оперативність, надійність, завадостійкість, а також показник відмінності її від деякої ідеалізованої чи існуючої системи, призначеної для розв'язання аналогічних задач.

Переважає більшість систем розпізнавання зображень є людино-машинними системами, в яких процес розпізнавання є функціонально розподіленими між апаратними засобами попередньої обробки вхідного зображення та особою, що приймає рішення – оператором, який розпізнає представлене на моніторі попередньо оброблене зображення і на основі отриманої інформації приймає відповідне рішення. При цьому критерії ефективності однаково відносяться і до алгоритмів функціонування технічних засобів, і до людини-оператора, і до системи розпізнавання загалом.

В реальних ситуаціях часто спостерігаються такі фактори, як збурення середовища (дощ, сніг, пил, туман, теплові потоки), закриття об'єктів уваги іншими об'єктами, шуми в каналах передачі інформації, а також можливі збої в роботі алгоритмів та програмного забезпечення. Ці фактори дуже сильно впливають на результати розпізнавання, а отже, і на правильність вибору рішень. Вони визначають складність розпізнавання зображень об'єктів, явищ та ситуацій. Проте, ступінь їх впливу на якість процедури розпізнавання може бути використана і як критерій диференціації систем розпізнавання за їх ефективністю відносно до даного типу задач обробки зображень та прийняття рішень, а самі реальні зображення можуть бути легко змодельовані за допомогою використання шумових полів із заданими характеристиками.

Враховуючи значну залежність якості розпізнавання зображень від впливу заважаючих факторів в даній роботі пропонується оцінювати ефективність розпізнавання

системою зображень на підставі тестування її з допомогою спеціальних зображень, які моделюють або безпосередньо відображають реальні зображення без перешкоджаючих факторів з накладеними на них шумовими полями із заданими властивостями і параметрами, зв'язуючи результати тестування з якістю прийнятих в даній системі рішень.

Роль ознак в оцінці якості процедури розпізнавання

Формально система розпізнавання може бути представлена відображенням $f_s = X \rightarrow R$, де X – множина об'єктів, на основі аналізу яких вибирається і приймається варіант рішення R , тобто $R = f_s(X)$. Ефективність розпізнавання в цьому плані визначатиметься ступенем "пошкодженості" зображення X , за умови, що прийняте рішення оптимальне. Отже, ефективність системи розпізнавання можна розглядати як функціонал якості

$$J[X(N)] = \text{opt}R, \quad (1)$$

де N - сукупність факторів, які ускладнюють розпізнавання зображення X .

Пошук на зображеннях $X = \{x\}$ конкретних об'єктів, визначених деяким еталоном, можна представити як поділ цього зображення на простір всіх об'єктів E і простір виявлених, подібних до заданих об'єктів G [2]. У результаті пошуку f_p , який здійснюється регулярним (автоматичні системи) або стохастичним (зоровий аналізатор людини) скануванням сенсорною системою навколишнього середовища чи оригінального двомірного зображення, на них виділяється деякий просторово обмежений фрагмент I , тобто $f_s: E \rightarrow I$. З допомогою апаратурних перетворень $f_a, f_a: I \rightarrow \Gamma$, ($a \in A, A$ – множина індексів) зображення цього фрагмента I перетворюється в зображення Γ , $\Gamma \in G$, на підставі аналізу і розпізнавання якого, переважно людиною-оператором, вибирається і приймається рішення, причому має місце $f_a(I) = c_a g_a(\Gamma)$, $I \subseteq E$, $c_a \in G$, $g_a: I \rightarrow \Gamma$ - гомоморфізм, а c_a - деякий показник відмінностей між реальними та представленими для розпізнавання зображеннями об'єктів.

Позначимо через $\Omega = \{\omega\}$, $\Omega \subseteq E$ підмножину об'єктів, які мають безпосереднє або потенціальне відношення до розв'язуваних задач в даній предметній області Π . Нехай має місце розбиття Ω на K суміжних класів, тобто $\bigcup_k \Omega_k = \Omega$, $\forall u, v, (u \neq v), \Omega_u \cap \Omega_v = \emptyset$, і в кожному з класів Ω_k можна в контексті даної задачі вказати конкретний об'єкт і підпорядкувати його відношенню Θ - "бути еталоном". Об'єкт $\omega_{j_0}^k \in \Omega_k$ буде еталоном для решти об'єктів цього класу, якщо Θ має такі властивості:

1. для будь-якого ω_j^k існує еталон $\omega_{j_0}^k$: $\omega_j^k \Theta \omega_{j_0}^k$;
2. якщо $\omega_{j_0}^k \Theta \omega_j^k$ тоді $\omega_j^k \Theta \omega_{j_0}^k$;
3. з $\omega_{j_0}^k \Theta \omega_j^k$ і $\omega_j^k \Theta \omega_{j_1}^k$ випливає $\omega_{j_0}^k \Theta \omega_{j_1}^k$.

Отже, еталонне зображення $\omega_{j_0}^k$ буде образом об'єкта ω_j^k на зображенні Γ , якщо в результаті ідентифікації за допомогою робочого словника ознак, представленим відповідним еталоном, має місце відображення $f_n(\omega_{j_0}^k) = \{q: q_j^k \in G, \exists p_j^k \in E: q = f_n(p)\}$, де q_j^k і p_j^k - ознаки об'єкта ω_j^k на зображеннях I та Γ , а $n \in N$, N – множина індексів ознак об'єкта. Гомоморфізм $g_n(\omega_j^k, \omega_{j_0}^k)$ можна інтерпретувати як ідентичність ознак $p_{nj}^k \in \Gamma$

виявленого об'єкта з ознаками $g_{n\omega_j^k}$ заданого еталону $\omega_{j_0}^k$. Тобто, якість розпізнавання визначається кількістю розпізнаних ознак знайденого і подібного до еталону об'єкта. Результатом такої ідентифікації є ймовірність P_{ω}^0 прийняття правильного рішення про ідентичність цього об'єкта з еталоном, яка визначається відношенням n/N , де $n \in N$ кількість виявлених ознак p_{nj}^k . Ймовірність P_{ω}^0 практично не залежить від характеристик f_a каналу перетворень і визначається параметрами розпізнавального алгоритму та різними факторами, що камуфлюють ознаки p_j^k . При збільшенні інтенсивності шумового поля частина ознак закривається шумовими елементами, що призводить до зменшення сумарної інформативності ознак розпізнаваного об'єкта, а отже, збільшується невизначеність при виборі правильного рішення та зменшується оперативність його прийняття за рахунок пошуку додаткової інформації.

Якщо деякий об'єкт ω_j^k описується N ознаками, але при розпізнаванні виявлено лише $n < N$, то при порівнянні з еталоном таке зменшення кількості виявлених ознак означає "віддалення" знайденого об'єкта від його еталона. Позначимо виявлену в об'єкта ω_j^k ознаку, ідентичну з еталонною, через "1", а відсутність відповідної ознаки в цього об'єкта через "0". Тоді відстань між об'єктом і еталоном можна представити кількісно з допомогою метрики Хеммінга

$$D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k) = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |\omega_{j_0 r}^k - \omega_{j r}^k|. \quad (2)$$

Якщо об'єкт ідентичний з еталоном і виявлена кількість ознак $n = N$, то $D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k) = 0$, але не виявлено жодної ознаки, визначеної цим еталоном, то $D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k) = 1$. Використання метрики $D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k)$ дозволяє представити процедуру розпізнавання функцією

$$D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k): E \times f_r(\omega_{j_0}^k) \rightarrow R, \quad (3)$$

а сама задача розпізнавання полягає у встановленні тотожності між виявленим об'єктом та його еталоном $\omega_{j_0}^k$.

При дії перешкоджаючих факторів, аналогічних шуму, в результаті маскуванню ознак значення $D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k)$ змінюється від 0 до 1. У зв'язку з цим важливу роль відіграє поняття і кількісне значення інтенсивності шуму $i_{\text{пор}}$, тобто таке порогове значення інтенсивності i , при перевищенні якого достовірно розпізнавання даного об'єкта є практично неможливим. Оскільки вплив шуму і кількість ознак є імовірнісними величинами за своєю природою і безпосередньо впливають на значення $D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k)$, то при визначенні порогу воно є нечітким. В таких ситуаціях якість розпізнавання можна оцінити так. Позначимо через d_1 і d_2 , значення з інтервалу $0 < d_1 \leq d_2 < 1$, $d_1, d_2 \in D(\omega_{j_0}^k, \omega_j^k)$. Тоді рішення правило має вигляд

$$R(N) = \begin{cases} \varphi^* < d_1 & \omega_j^k \neq \omega_{j_0}^k & R: \omega_j^k \notin \Omega_k; \\ d_1 \leq \varphi^* \leq d_2 & (?) \\ \varphi^* \geq d_2 & \omega_j^k = \omega_{j_0}^k & R: \omega_j^k \in \Omega_k. \end{cases} \quad (4)$$

Величини d_1 і d_2 є допускками і фактично є непрямою інтервальною оцінкою для значення порогу інтенсивності, а при $d_1 = d_2 = d$ маємо порогове значення відстані.

У цьому плані визначення форми зв'язку між параметрами шумового поля, зокрема його інтенсивності, та кількістю виявлених ознак може бути представлено аналітично, що в свою чергу дає підстави для створення шкали складності розпізнавання зображень об'єктів в умовах впливу шуму.

Властивості шумових полів

При оцінюванні ефективності систем обробки візуальної інформації виникає потреба мати відповідне метрологічне забезпечення, яке б дозволило оцінити вхідну інформацію за рівнем впливу перешкоджаючих факторів на інформативні ознаки розпізнаваного об'єкта та кількістю виявлених ознак, щоби співставити ці оцінки з прийнятими системою рішеннями. Найбільш перспективним у цьому плані є використання зображень або їх моделей з накладеними на них шумовими полями із заданими характеристиками.

Ідея використання шуму для конкретизації відношення сигнал-шум при оцінці систем теплобачення розглянута в [3]. В [4] описані експерименти, в яких досліджуються процеси визначення бінарних об'єктів, уражених некорельованими завадами та в присутності адитивного шуму. Моделювання завад із різними законами розподілу центрів їх локалізації, інтенсивності та виду впливу на зображення об'єктів наведені в [5].

В умовах сучасного комп'ютерного забезпечення шумові поля легко створити з допомогою генераторів випадкових чисел. При цьому як їх параметри розглядаються розміри шумового поля, закон розподілу центрів локалізації елементів шуму, їх інтенсивність, форма, розмір, вид взаємодії (вибивання та накладання), а також колір та яскравість.

При моделюванні шумових полів в роботі [6] були використані рівномірний, нормальний та експоненціальний закони розподілу. У випадку використання для генерації значень координат нормального закону розподілу задають координати центрів шумових елементів та величину їх розсіяння, а при використанні для генерації експоненціального розподілу необхідно вказати градієнт інтенсивності.

Для контролю наявності кореляції між згенерованими значеннями координат у випадку рівномірного розподілу шумове поле умовно ділять на прямокутні області і підраховують кількості шумових елементів в кожній з них, використовуючи методику аналізу кореляційного поля. Відсутність кореляції для рівномірного розподілу означає, що послідовність випадкових чисел є некорельованою.

Інтенсивність $I(z)$ шумового поля, де z – кількість елементів шуму, визначається як відношення сумарної площі S_z , зайнятої елементами шуму до повної площі поля S_0 , тобто $I(z) = S_z/S_0$, і вимірюється у відносних одиницях або у відсотках. Розмір шумових елементів при розпізнаванні зображень зашумлених об'єктів відіграє роль лише тоді, коли ці розміри співмірні з елементами конфігурації форми об'єкта. Форма елементів шуму практично ролі не відіграє, оскільки розміри шумових елементів є значно меншими від розмірів об'єктів, проте коли в ролі завад виступають подібні об'єкти з інших класів, їх форма може мати важливе значення.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження виявили ряд властивостей шумових полів, без врахування яких про відповідність тестів поставленим цілям не може бути й мови. Тому розглянемо ці властивості більш докладно.

Накладання завад

Припустимо, що кожна розпізнавальна ознака характеризується областю площею W . При накладанні шумових елементів або завад результат їх дії можна представити як

$$\frac{W_z}{W} = \begin{cases} 0, & W_z = 0; \\ \delta, & 0 < \delta < 1 \\ 1, & W_z = W. \end{cases} \quad (5)$$

Випадкові величини, які набувають значення на сегменті $[0, 1]$ є підпорядковані закону бета-розподілу з параметрами a і b з щільністю ймовірності

$$f_{\beta(a,b)} = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}, \quad \text{при } 0 \leq x \leq 1. \quad (6)$$

Отримана за допомогою числового експерименту емпірична функція щільності розподілу $f_{\beta(a,b)}(\delta)$ точно підтверджує належність δ до цього розподілу, а її вид має чітко виражену U -подібну симетричну форму при значеннях параметрів $a = b = 0.5$.

Функція щільності розподілу площ $f_{\beta(a,b)}(\delta)$ в середній частині своєї U -подібної форми є практично паралельною до осі абсцис в межах від $0.1 \div 0.2$ до $0.8 \div 1.0$, а це означає, що в межах $0.2 \div 0.8$ є рівноможливі. Це означає, що в цьому інтервалі значення площ перекриття розподілені рівномірно, тобто перекриття елементами шуму один одного по всій площі поля є однорідним. Значення зліва, тобто $0 \div 0.2$, незначно впливають на інформативність ознак, а значення 0.8 і більше практично повністю знищують їх інформативність. Поділ інтервалу значення $\delta[0,1]$ на практично однакові відрізки відповідає деякій шкалі шуму, яка вже може забезпечити вибір необхідних градацій інтенсивності шумових полів при побудові тестових зображень. Порогове значення інтенсивності знаходиться десь посередині цієї шкали, а значення градацій на її кінцях не представляють практичного інтересу. Проте така шкала відносно маскування ознак є нелінійною.

Відмінність між розрахованою інтенсивністю та реально отриманою

Теоретично інтенсивність шумового поля розраховують, виходячи з відношення площ. При заданій площі шумового елемента π_z необхідна кількість елементів шуму, яка повинна забезпечити задану інтенсивність, визначається як $h = S_z / \pi_z$ за умови, що ці елементи не перекриваються. В сучасних комп'ютерах програмно реалізовані генератори випадкових чисел дають значення пар координат, які можуть повторюватись. Це призводить до того, що площа, зайнята шумом, зменшується через накладання одних елементів шуму на інші. Зменшення загальної площі завад залежить як від інтенсивності, так і від розмірів самих елементів шуму.

Експериментально встановлено, що "втрати" в площі, яку мають закрити елементи шуму, можна врахувати за допомогою показника $\eta = S_r / S_p$, де S_r – розраховане значення площі, яка має бути закрыта шумом, S_p – фактичне значення площі, зайнятої завадами. Залежність показника η від інтенсивності $i \in I(z)$ має лінійний характер

$$\eta = 0.978 - 0.00375i. \quad (7)$$

При побудові шумових полів теоретично розрахована кількість елементів шуму заданого розміру повинна бути збільшена в η^{-1} разів.

Маскування ознак

Використання шумових полів для дослідження їх впливу на розпізнавальну інформативність ознак об'єктів було перевірено на бінарних зображеннях об'єктів експериментально. Оцінка ефекту маскування ознак об'єкта елементами шуму полягала у визначенні відстані між еталоном і замаскованим шумом об'єктом. У результаті було встановлено, що значення відстані D між еталоном об'єктом ω_0^k і зашумленим ω_j^k є двомірною функцією, яка суттєво залежить від інтенсивності i шумового поля і дещо менше від розмірів елементів шуму, тобто $D = D(i, s)$. Для кожного розміру елементів шуму зміна відстані зумовлена лише інтенсивністю i при використанні метрики Хеммінга є обернено пропорційною до кількості виявлених ознак.

В дослідженнях були використані об'єкти з прямокутною конфігурацією контура, кратною максимальному розміру елемента шуму. Шумові елементи у формі квадрата мали розміри $l \times l$, $l = 1, 2, \dots, 10$. Робочий словник ознак об'єктів включав $N = 60$ ознак 8 типів, які були представлені булевими матрицями 2×2 елементи. Розпізнавання об'єктів проводилось в автоматичному режимі за допомогою розпізнавального алгоритму. Робота алгоритму полягала в наступному. Область локалізації об'єкта по-піксельно проскановувалась і кожен з пікселів з координатами (x, y) разом зі своїми сусідами $(x+1, y), (x, y+1), (x+1, y+1)$ був проаналізований 8-ма логічними предикатами на відповідність одній з ознак об'єкта. Кількість n виявлених (незакритих шумом) ознак підраховувалась. Зміну кількості ознак n як функцію інтенсивності шумового поля при одному і тому ж розмірі елементів шуму описано диференціальним рівнянням

$$\frac{dn}{di} = -kn, \quad (8)$$

розв'язок якого при даних початкових умовах: $n = N$ при $i = 0$ дає залежність виду

$$n = N \exp[-ki], \quad k > 0. \quad (9)$$

Для кожного розміру елементів шуму отримане співвідношення відрізняється лише показником k . Ця залежність має гіперболічний характер і добре апроксимується функцією

$$k = a_1 l^{-2} + a_2 l + a_3. \quad (10)$$

Отже, двомірна функція кількості виявлених ознак має вигляд

$$n = N \exp\left[+i(a_1 l^{-2} + a_2 l + a_3)\right], \quad (11)$$

і з досить високою точністю описує експериментальні дані при таких значеннях параметрів

$$a_1 = 0.011201; \quad a_2 = 0.026727; \quad a_3 = 0.014183.$$

Висновок

На підставі теоретичних і експериментальних даних формально обґрунтовано на прикладі процедури розпізнавання об'єктів заданого класу – їх пошуку, виявлення та ідентифікації з еталоном в умовах маскуванню шумом – правомірність використання шумових полів для створення тестових зображень, проградуєваних за інтенсивністю шуму для визначення відповідності між складністю розпізнавання зображень та якістю прийнятих рішень і зосереджено увагу на втратах ознак в таких ситуаціях.

Досліджено зменшення інтенсивності шумового поля за рахунок перекриття елементів шуму і введено показник, який дозволяє перерахувати теоретичну кількість елементів шуму заданого розміру для забезпечення потрібної градації інтенсивності шумового поля.

Подано аналітичний вид функції кількості виявлених ознак об'єкта залежно від інтенсивності шумового поля та розміру його елементів.

Тобто в роботі показано можливість створення зображень тестів з наперед заданими параметрами і характеристиками, які можуть бути використані як шумові маски при оцінюванні якості та ефективності систем розпізнавання зображень об'єктів різних класів.

1. Горелик А.Л. Систематические аспекты проблемы распознавания объектов и явлений // Радиотехника, 1990, № 9, С.13-18.
2. Барчунов Б.В. Метод распознавания двумерных яркостных изображений, использующий информацию о геометрической структуре изображения // Вестник московского университета, сер. 15, вычислительная математика и кибернетика, 1989, №2, С. 65-70.
3. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М., 1978.
4. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. М., 1986.
5. Грицьк В.В., Кисиль Б.В., Паленичка Р.М. Математическое моделирование фонов и их взаимодействия с локальными объектами. Львов, ФМИ, препр. № 46, 1980.
6. Камінський Р.М. Градування складності розпізнавання зображень з використанням шумових полів // Автоматика-2000./Мат-ли Міжн. конф. з автоматичного управління, Львів, 11 - 15 вересня 2000, Праці, том 6, - Львів, ДНДІ П, 2000. - С. 229 - 237.

УДК 621.391

ОПИС ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПАПЛЯРНИХ ВІДБИТКІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЛЯ НАПРЯМКІВ

© Р. Косаревич, Б. Русин

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України